

ANP VE TOPSIS YÖNTEMLERİYLE TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİ YATIRIM ALTERNATİFLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

¹Evren Can ÖZCAN, ² Sultan ÜNLÜSOY, ³Tamer EREN

¹Bakım Yönetim Sistemi Müdürü, Elektrik Üretim A.Ş., ANKARA

^{2,3}Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, KIRIKKALE

¹evrencan.ozcan@euas.gov.tr, ²sultanunlusoy@gmail.com, ³teren@kku.edu.tr

(Geliş/Received: 20.10.2016; Kabul/Accepted in Revised Form: 13.02.2017)

ÖZ: Küresel dünyada milletlerin refah seviyesini yükseltmek için geliştirilmesi zorunlu olan sürdürülebilir kalkınma hamlelerinin önemli bir aşamasını, verimlilik, ekonomiklik ve çevreye duyarlılık temelinde sürdürülebilir enerji politikaları teşkil etmektedir. Bu kapsamda, ülkeler sahip oldukları yenilenebilir enerji kaynaklarını mümkün olan en üst seviyede elektrik üretiminde kullanmak için çalışmalar yürütmek zorunda kalmaktadır. Bu bağlamda bu çalışmanın amacı, azımsanmayacak ölçüde yenilenebilir enerji kaynak potansiyeline sahip olan Türkiye'nin bu kaynaklarını verimli, güvenilir, ekonomik, kesintisiz ve çevreye duyarlı elektrik üretimi gerçekleştirmek amacı doğrultusunda yatırım öncelikleri açısından değerlendirmektir. Bu amaçla çalışmada, literatürdeki çalışmalar ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) 2015–2019 Stratejik Planı referans alınarak belirlenen ve ağırlıkları ANP (Analytic Network Process) yöntemi ile hesaplanan teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel faktörlerden oluşan 4 ana kriter ve bunlara bağlı 12 alt kriter altında, Türkiye'nin sahip olduğu hidroelektrik, rüzgar, biokütle, güneş ve jeotermal enerji kaynakları TOPSIS (The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi ile sıralanmış ve bu kaynaklar ile yapılacak yatırım öncelikleri elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir enerji kaynakları, Çok kriterli karar verme, TOPSIS, ANP, Türkiye.

Evaluation of the Renewable Energy Investments in Turkey Using ANP and TOPSIS Methods

ABSTRACT: Sustainable energy policies constitute the most part of the sustainable development moves which are compulsory to be improved in order to increase prosperity level in global world on the basis of efficiency, economy and environmental awareness. In this scope, the countries have to carry out studies in order to use their renewable energy resources at the highest level possible. Within this context, the aim of this study is to evaluate the resources of Turkey having a considerable amount of potential renewable ones with the goal of realizing efficient, reliable, economic, uninterrupted and environmentally friendly electricity generation. In this study, to reach this goal, hydroelectric, wind, biomass, solar and geothermal energy resources in Turkey have been ranking by TOPSIS method under 4 main criteria and 12 related sub-criteria comprised of technical, economic, social and environmental factors determined based on the studies in literature and 2015-2019 Strategic Plan of the Ministry of Energy and Natural Resources (MENR) and the weights of which are calculated with ANP method and the investment priorities which will be made by using these resources have been obtained.

Keywords: Renewable energy resources, Multi-Criteria decision making, TOPSIS, ANP, Turkey.

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde küresel anlamda yaşanan nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme olguları, artan ticaret olanakları ve sürekli gelişen teknolojinin insan hayatında vazgeçilmez bir unsur haline gelişi enerjiye olan talebi her geçen gün biraz daha artırmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), 2010-2035 yılları arasında enerji talebindeki artışın %93'ünü gelişmiş ülkelerin oluşturacağını ve bunun maliyetinin 30 trilyon doları bulacağını öngörmektedir (Buntaine ve Pizer, 2015).

2015 sonu itibarıyla dünyada tüketilen enerjinin %87'si petrol, doğalgaz ve kömür gibi yenilenemeyen fosil kaynaklardan karşılanmıştır (Ham Petrol ve Doğalgaz Sektör Raporu, 2016). Yenilenemeyen bu kaynaklar rezerv cinsinden ifade edilmektedir ve bu durum er ya da geç bu kaynakların tükeneceği anlamına gelmektedir. Diğer ülkelerden kaynak tedarik etme seçeneği ise, dünya üzerinde süregelen güç dengesi değişimleri nedeniyle güvenilir ve sürdürülebilir bir seçenek olmaktan uzaktır. Bunların yanı sıra, iletişim araçlarıyla çevre bilincinin artması, fosil yakıtların doğal kaynaklar üzerinde küresel seviyede olumsuz etkiye sahip olması ve bu bağlamda gelişen gelecekle ilgili endişeler elektrik üretiminde alternatif kaynak arayışlarını yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir (Kum, 2009).

Gelişmekte olan ülkeler arasında yer alan Türkiye'de dünya ortalamasının üzerinde seyreden bir enerji talep artışı söz konusudur (Özcan ve Eren, 2014). Elektrik tüketiminin 2020 yılında yüksek senaryoya göre yıllık olarak yaklaşık %6,9 artışla 392 TWh'e, baz senaryoya göre ise yıllık ortalama %5,5 artışla 357,4 TWh'e ulaşması beklenmektedir (TEİAŞ, 2016). Bununla birlikte Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti, bu ivmeli artışı verimli, ekonomik ve çevreye duyarlı bir şekilde karşılayabilmek adına sürdürülebilir enerji politikaları geliştirmekte ve bu kapsamda, Türkiye'nin sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelini mümkün olan en üst seviyede kullanarak Türkiye Cumhuriyeti Devleti'nin 100. kuruluş yılı olan 2023'de yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payını en az %30'a yükseltmeyi hedeflemiştir (Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı, 2014). Bu tip stratejik bir hedefin büyük yatırımları beraberinde getirdiği gerçeğinden hareketle, büyük altyapı yatırımları grubuna giren söz konusu santral yatırımlarının birbirleriyle etkileşim içerisinde olan çok sayıda kriterin dikkate alınarak planlanması stratejik açıdan büyük bir öneme sahiptir.

Bu bağlamda çalışmada, problemin büyüklüğü ve çok kriterli yapısı temel alınarak birbirleri ile etkileşim halinde olan birçok kriter ve alt kriter altında karar vericilere analitik çözümler üreten yöntemler grubu olarak tanımlanabilecek çok kriterli karar verme yöntemleri temel alınmış olup ağırlıkları ANP ile hesaplanan 4 ana kriter ve bunlara bağlı 12 alt kriterle bağlı olarak Türkiye'nin sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan 5 tip elektrik üretim santrali yatırımının öncelikleri TOPSIS sıralama algoritması ile belirlenmiştir.

LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE REVIEW)

İnsanlar günümüzde, günlük ya da iş yaşantılarında birbirleri ile çelişen ya da ilişkili birçok kriterle bağlı olarak kararlar almak durumunda kalmaktadır. Bu kapsamda, yöneylem araştırmasının bir alt disiplini olan ve karar verme sürecini bu gerçeğe göre ele alan çok kriterli karar verme yaklaşımlarının kullanımı her geçen gün daha da fazlaşmaktadır.

Birçok çözüm yaklaşımının var olduğu bu önemli yöneylem araştırması dalında, kriter ve alt kriterler arasındaki etkileşimi dikkate alarak karar verme sürecindeki analitiklik düzeyini artıran bir yöntem olarak ANP ile uygulama kolaylığı ve ürettiği etkin sonuçlar ile sıralama algoritmaları arasında TOPSIS dikkat çekmekte olup literatürde bu yöntemleri birlikte kullanarak yapılmış proje seçiminden (Mahmoodzadeh vd., 2007) pazarlama stratejisi belirlemeye (Wu vd., 2010), yazılım alternatifleri arasından en uygun olanın belirlenmesinden (Perçin ve Gök, 2013) servis sağlayıcı yer seçimine (Chang vd., 2015) kadar birçok çalışma bulunmaktadır.

Dünya siyaseti ve insanlığın enerjiye olan bağımlılığı ile doğası gereği çok kriterli bir yapıya sahip olan ve bu nedenle etkin çözümlerin üretilmesi için analitik yaklaşımlara ihtiyaç duyan enerjiyle ilgili karar verme süreçlerinin bu özellikleri dikkate alındığında, bu problemler kritik optimizasyon problemleri grubuna dahil edilebilir ve bu denli önemli olan bu problemlerin çözümünde çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanımı etkin sonuçlar verecektir (Özcan ve Küçükayarar, 2016). Bu kapsamda, aşağıda verilen çalışmalar gibi bu çalışmada da çok kriterli karar verme yaklaşımlarına başvurulmuş ve yukarıda bahsedilen özellikleri nedeniyle bu yaklaşımlardan ANP ve TOPSIS yöntemleri birlikte kullanılarak, Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılacak olan yatırımlarının en uygun sırası belirlenen kriterler dahilinde elde edilmiştir.

(Heo vd., 2010), Kore’de yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırım payının belli bir tarihten sonra daha da artırılabileceğinden ve bu nedenle Ar-Ge çalışmalarına verilen önemden bahsetmişler ve çalışmalarında bulanık ANP yöntemi ile göz önünde bulundurulmuş her bir faktörün etkisini değerlendirmişlerdir. (Kaya ve Kahraman, 2010) çalışmalarında, çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve VIKOR yöntemlerini kullanarak İstanbul’da yenilenebilir enerji alternatiflerini değerlendirmişler ve üretim yeri seçimi için öneride bulunmuşlardır. (Uysal, 2011), Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitli yönlerden önemine vurgu yaptığı çalışmada, GRAF Teorisi ve Matris Yaklaşımı ile seçim için bir model önerirken (Barry vd., 2011), Afrika için 13 farklı kriteri değerlendirerek sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji için teknoloji seçimi yapmışlardır. (Yi vd., 2011), Güney Kore’de yaşanan enerji sıkıntısının üstesinden gelebilmek için yenilenebilir enerji kaynakları ile sürdürülebilir enerjiye katkı sağlayacak çözüm önerisini AHP ve BOCR yöntemlerini kullanarak yapmışlardır. (Sadeghi vd., 2012), İran’ın ekonomik yönden kalkınması amacıyla, belirlenen 4 alternatif yenilenebilir enerji kaynağı arasından en uygun olanını Bulanık ANP ve Bulanık TOPSIS yöntemleri ile seçmişlerdir. (Ertay vd., 2013), sürdürülebilir kalkınma ve ekonomik büyüme için enerji tüketimine dikkat çektikleri ve yenilenebilir enerji kaynaklarının öneminden bahsettikleri çalışmalarında, MACBETH ve AHP yöntemlerini kullanarak belirlenen kriterlere göre alternatifleri değerlendirmişlerdir. (Ayan ve Pabuçcu, 2013), ETKB’nin 2010-2014 Stratejik Planından (2009) yola çıkarak yenilenebilir kaynak seçimi problemi için bir hiyerarşi oluşturmuş ve ağırlıkları AHP ile hesaplayarak seçim yapmışlardır. (Yazdani-Chamzini vd., 2013), çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden AHP yöntemi ile COPRAS yöntemini entegre ederek yenilenebilir enerji kaynakları proje seçiminde göz önünde bulundurulmuş çeşitli faktörleri değerlendirmişler ve mevcut alternatifler arasından en uygun olanını belirlemişlerdir. (Tasri ve Susilawati, 2014), son zamanlarda yaşanan enerji kaynakları kıtlığına dikkat çekerek alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesine vurgu yapmışlar ve yenilenebilir enerji kaynakları arasından seçim yapmak için bulanık AHP yöntemini kullanmışlardır. (Ahmad ve Tahar, 2014), Malezya’da sürdürülebilir enerji üretim sistemine katkıda bulunması amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelini gözden geçirmişler ve belirlenen seçenekler arasından en uygun olanını AHP ile seçmişlerdir. (Büyüközkan ve Güleryüz, 2014), bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemleri ile yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki seçim sürecinde kritik öneme sahip kriterleri belirleyerek yatırımcıya maksimum mali faydayı sağlayan en uygun kaynağı bulmak için alternatifler arasında sıralama yapmışlardır. (Şengül vd., 2015) ise, Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları arasından seçim yapmak için bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. (Trappey vd., 2015), iklimde yaşanan değişikliklerle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin öneminden bahsederek, temel alınan hedefler çerçevesinde SOM (kümeleme yöntemi) ve AHP ile yenilenebilir enerji politikalarını değerlendirmişlerdir. (Abdullah ve Najib, 2016) çalışmalarında, bulanık AHP yöntemini kullanarak Malezya için enerji planlamasında yenilenebilir enerji kaynaklarını değerlendirmişlerdir. (Al Garni vd., 2016), çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP yöntemini kullanarak yenilenebilir enerji kaynaklarını Suudi Arabistan için değerlendirmişler ve ekonomik yönden kalkınmaya yönelik bir yaklaşım önermişlerdir. (Stojcetovic vd., 2016), Sırbistan’da yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapma kararını verirken önemli olan kriterleri belirlemişler ve Sırbistan için özel koşullara en uyum sağlayacak olan yenilenebilir enerji kaynaklarını SWOT analizi ve AHP kullanarak değerlendirmişlerdir. (Weigelt ve Shittu, 2016) ise çalışmalarında, 1999 ve 2010 yılları arasındaki firmaların kaynak yatırımları

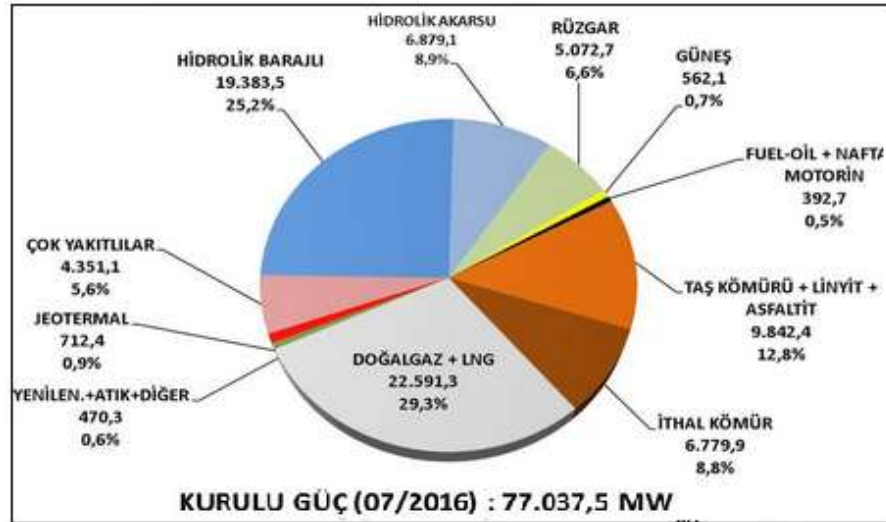
ile rekabetteki çeşitli yönlerden etkisini incelemek amacıyla ABD elektrik sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımları incelemiştir.

TÜRKİYE'DE MEVCUT DURUM VE YENİLENEBİLİR KAYNAK POTANSİYELİ (CURRENT STATUS AND RENEWABLE RESOURCE POTENTIAL IN TURKEY)

Dünya siyasetinin yakın tarihine bakıldığında bütün önemli gelişmeler için temel bir kaide vardır: "Ya politika enerjiyi takip eder, ya da enerji politikayı...". Bütün güç oyunu aslında bu kural üzerinden döner ve oynanır. Bu bağlamda, herhangi bir uluslararası olayın tarihini yazarken ya da sayfalarca analizini yaparken enerjiden, yani fosil yakıt denkleminde (dünyada tüketilen enerjinin %87'sinin bu kaynaklardan karşılandığı düşünüldüğünde) söz edilmemesi düşünülemez (Özcan ve Küçükayarar, 2016).

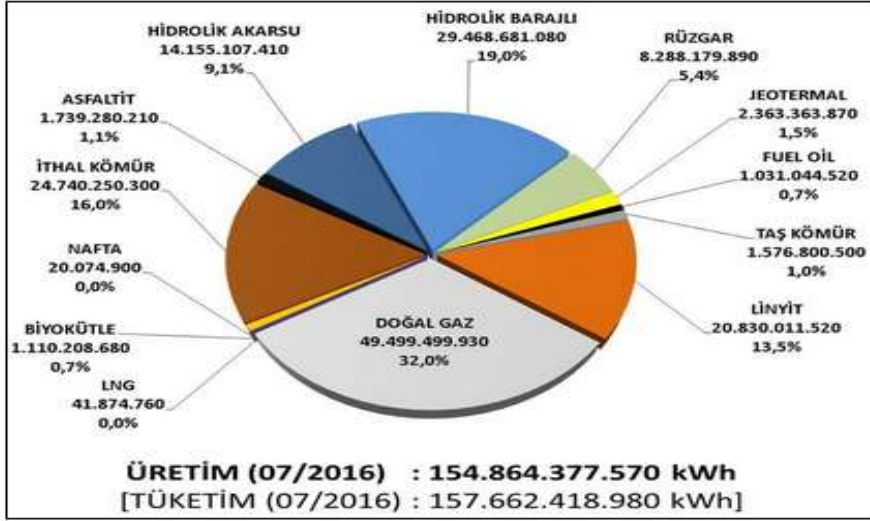
Fosil yakıtlar şimdiye dek her ne kadar dünyanın gelişimini hızlandırmış olsa da, günümüzde dünyanın sonu için olağan şüpheli konumundadır. Ancak, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin 2015 Aralık ayındaki Paris Toplantısı ile dünya gündeminin en tepesine yerleştiği bugünlerde dahi, fosil yakıtsız bir gelecek uzun yıllar öngörülemez (Özcan ve Küçükayarar, 2016). Bununla birlikte, fosil yakıtların çevreye verdikleri zarar, yenilenebilir kaynaklara nazaran maliyetlerinin yüksek oluşları ve birçok ülke için ithal kaynak pozisyonunda olmaları, dünya arenasında ülkeleri söz sahibi kılan enerji konusunda sürdürülebilir politika üretme gereksiniminden dolayı, hükümetleri sahip oldukları yenilenebilir enerji kaynaklarını en etkin bir biçimde kullanma doğrultusunda arayışlar içine sokmaktadır.

Türkiye de dünya ile paralel olarak, 77.000 MW'ı aşan kurulu gücü (Şekil 1) ile Temmuz 2016 sonu itibariyle 160 milyar kWh'e yaklaşan enerji talebinin (Şekil 2) %70'ine yakını (Şekil 3) fosil kaynaklardan karşılamakla birlikte, ürettiği sürdürülebilir enerji politikaları gereği sahip olduğu, 430-450 GWh/yıl hidrolik, 400 GWh/yıl rüzgar, 365 GWh/yıl güneş, 16 GWh/yıl jeotermal ve 1,58 GWh/yıl biokütle (Demir ve Emeksiz, 2016) kaynak potansiyelini hızla elektrik üretimine kanalize etmektedir. Son 3 yılda yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye toplam elektrik üretimi içindeki payının yaklaşık %10 oranında artması ve hükümetin 100. yıl hedefine şimdiden ulaşması bunun en belirgin işaretleridir.



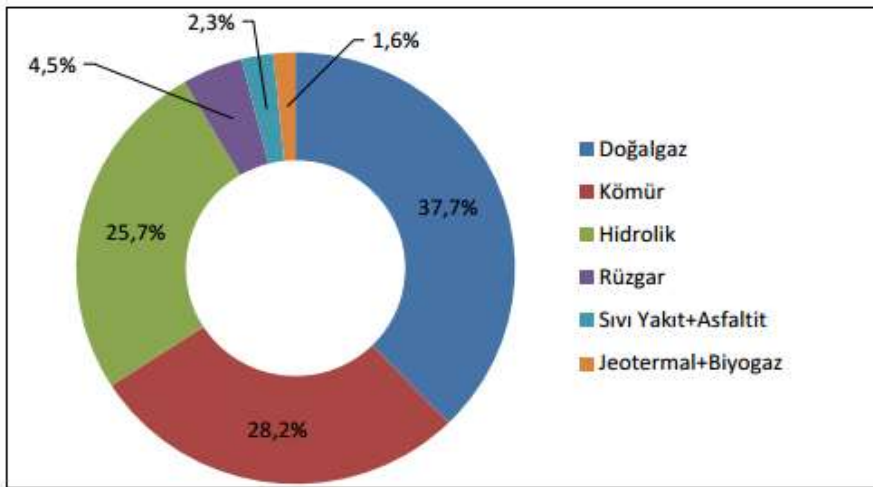
Şekil 1. Türkiye'nin kaynaklara göre kurulu gücü – Temmuz 2016 sonu (TEİAŞ, 2016)

Figure 1. Installed capacity of Turkey according to the resources – End of July, 2016



Şekil 2. Türkiye'nin kaynaklara göre üretim ve tüketimi – Temmuz 2016 (TEİAŞ, 2016)

Figure 2. Electricity generation and consumption of Turkey according to the resources – End of July, 2016



Şekil 3. Türkiye elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı - 2015 sonu (TEİAŞ, 2016)

Figure 3. Distribution of electricity generation of Turkey according to the resources – End of 2015

Yukarıda da değinildiği üzere, sürekli artış eğiliminde olan enerji talebini fosil kaynaklardan sağlamak sonlu bir sürece dahil olmak anlamına gelmektedir. Bu sebeple, yenilenebilir kaynak potansiyelini mümkün olan en üst seviyede kullanmak ülkelerin sürdürülebilir enerji arzı temelinde öncelikli hedefidir. Türkiye de tüm gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerle birlikte bu gerçekler ile hareket etmekte olup yenilenebilir enerjinin teşvik edilmesi ve çevre dostu enerji teknolojilerin kullanımı ile sera gazı emisyonunun azaltılması ana temasını içeren Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine taraf olmuş ve 2009 yılında Kyoto Protokolünü imzalamıştır. Ayrıca, Yenilenebilir Enerji Eylem Planı ve yakın zamanda yapılması öngörülen Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı'nı gündeme getirmiştir. Görüldüğü üzere Türkiye, yenilenebilir kaynak kullanımı konusunda istikrarlı bir şekilde ilerlemekte ve yenilenebilir teşvik mekanizması, gümrük vergisi muafiyeti, vergi indirimi, sigorta primi işveren hissesi desteği, faiz desteği, yatırım yeri tahsisi, katma değer vergisi muafiyeti gibi kolaylıklarla yatırımcıları yenilenebilir enerji kaynak santrallerinin inşası doğrultusunda teşvik etmektedir. Tüm bu gerçekler ve gelişmeler, Türkiye için sahip olunan yüksek yenilenebilir enerji kaynak potansiyelini hayata geçirmek için yatırım önceliklerinin bütün çerçevesi ile ele alınarak analitik temelli olarak belirlenmesini ön plana çıkarmakta ve bu durum da bu çalışmanın önemini ortaya koymaktadır.

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ (MULTICRITERIA DECISION MAKING METHODS)

Çok kriterli karar verme yöntemleri, ölçülebilen ve ölçülemeyen birçok stratejik kriteri bir arada değerlendirme imkânı sunan ve aynı zamanda karar verme sürecinde birden çok kişinin yargısına başvuran analitik yöntemlerdir. Bu yöntemlerden; kriterler ve alt kriterler arasındaki ilişkileri dikkate alması ve böylelikle tek bir yöne bağlı modelleme zorunluluğunu ortadan kaldırarak karar vericilere daha hassas ve tutarlı sonuçlar üreten ANP (Yıldız, 2014) ile diğer sıralama algoritmalarına nazaran uygulama kolaylığı olan ve etkin sonuçlar üreten TOPSIS yöntemleri sahip oldukları avantajlar nedeniyle bu çalışma kapsamında kullanılmıştır.

ANP (Analytic Network Process)

Bazı problemler hiyerarşik yapıya sahip olmamalarına rağmen problemin çözümünde ele alınan kriter, alt kriter ve alternatifler birbirleriyle etkileşim halinde olabilir. Karar vermede etkili olan kriterler arasındaki ilişkileri göz önünde bulunduran ANP yöntemi, Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen AHP'nin genelleştirilmiş halidir (Alptekin, 2010). ANP, sayısal faktörlerin ifade edilemediği durumlarda da iyi bir çözümleyicidir (Yaralıoğlu, 2010) ve AHP' ye kıyasla daha karmaşık karar verme problemlerine uygulanabilmektedir. ANP yönteminin uygulama adımları şu şekildedir:

Adım 1: Karar Verme Probleminin Belirlenmesi

Adım 2: İlişkilerin Belirlenmesi: Kriter ve alt kriterler arasındaki etkileşimler (içsel/dışsal bağımlılıklar ve geri bildirimler) belirlenir.

Adım 3: Kriterler Arası İkili Karşılaştırmaların Yapılması

Adım 4: Tutarlılığın Hesaplanması: Her bir karşılaştırma matrisinin tutarlılık oranı (CR) hesaplanır. Eğer hesaplanan bu değer 0,10'dan küçükse matris tutarlıdır.

Adım 5: Süper Matrislerin Sırayla Oluşturulması:

-Ağırlıklandırılmamış Süpermatris: Süpermatrisler , problemi oluşturan kriter, alt kriter ve alternatifler arasındaki tüm etkileşimlerin hesaplamaya katıldığı üstünlük vektörlerinden oluşan bir kare matristir (Göktürk vd., 2011).

-Ağırlıklandırılmış Süpermatris: Ağırlıklandırılmamış süpermatrisin her bir sütun toplamının 1'e eşitlendiği halidir (Anık, 2007).

-Limit Süpermatrisin: Ağırlıklandırılmış süpermatrisin satırları değişmeye kadar kuvvetinin alınmasıyla oluşturulur.

Adım 6: En İyi Alternatifin Belirlenmesi: Alternatifler, limit süpermatris ve kriter ağırlıklarının bulunarak bu değerler arasından en yüksek olan alternatifin seçilmesi ile gerçekleştirilir.

TOPSIS Yöntemi (TOPSIS Method)

TOPSIS yöntemi Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında geliştirilmiştir ve karar verme problemlerinde çözüme ulaşırken yapılan analizler ile pozitif ideal çözüme ve negatif ideal çözüme göre alternatiflerin seçilmesine dayanmaktadır. TOPSIS yöntemi 6 adımdan oluşmaktadır:

Adım 1: Karar Matrisinin Oluşturulması: Karar matrisinin satırlarında üstünlükleri sıralanmak istenilen alternatifler, sütunlarında ise karar vermede etkili olan kriterler yer almaktadır. Başlangıç matrisi olarak da adlandırılmaktadır.

Adım 2: Standart Karar Matrisinin Oluşturulması: Aşağıdaki eşitlik yardımıyla standart karar matrisi oluşturulur.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (1)$$

Adım 3: Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin Oluşturulması: Kriterlerin değerlendirilebilmesi için ağırlık oranları belirlenir. Daha sonra her ağırlık değeri standart karar matrisindeki ilgili kriterin değeri ile çarpılarak ağırlıklı standart karar matrisi elde edilir.

Adım 4: İdeal (A^) ve Negatif İdeal (A^-) Çözümlerin Oluşturulması:* Kriterlerin monoton artan ve monoton azalan eğilim gösterdiği varsayımına göre ağırlıklı standart karar matrisindeki değerlerden maksimum ve minimum olanları tespit edilir.

Adım 5: Ayrım Ölçütlerinin Hesaplanması: Aşağıdaki eşitlikler kullanılarak matristeki her bir karar noktasının kriter değerlerinin ideal ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları hesaplanır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (2)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (3)$$

Adım 6: İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması: Ayrım ölçütleri kullanılarak ideal çözüme göreli yakınlık aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (4)$$

Burada negatif ideal ayırım ölçütünün, toplam ayırım ölçütleri içindeki payı hesaplanır. C_i^* değeri 0-1 aralığında değer alır. Bu değer 1 değerini alması ilgili karar noktasının ideal çözüme, 0 değerini alması ise, karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını ifade etmektedir. (Arıbaş, 2015).

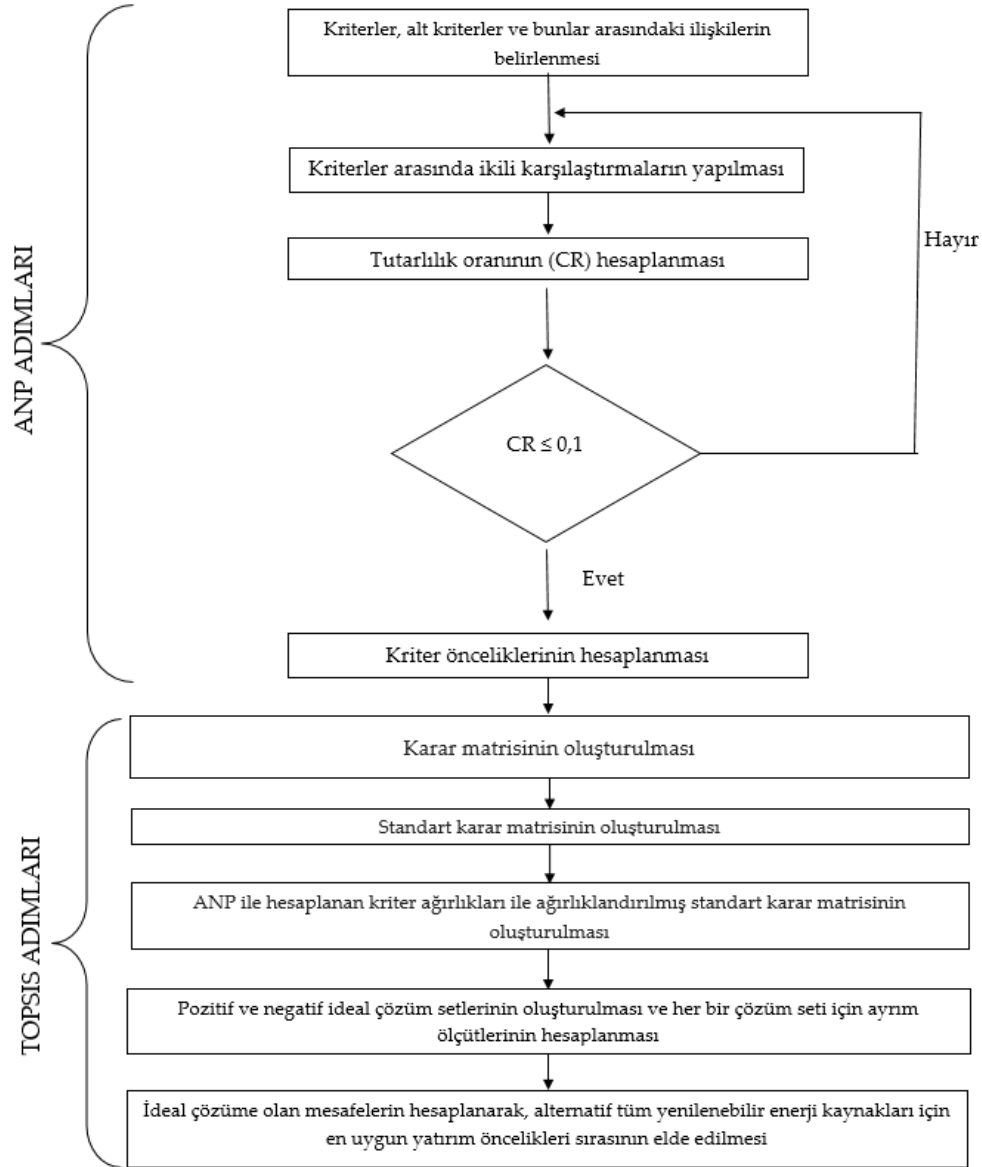
UYGULAMA (Case Study)

Her ne kadar günümüzde Türkiye toplam elektrik üretiminin çok büyük bir kısmı fosil kaynaklardan karşılanırsa da, Türkiye Cumhuriyeti Devleti Hükümetinin yukarıdaki bölümlerde bahsedilen nedenlerden ötürü geliştirdiği sürdürülebilir enerji politikaları çerçevesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payının 2023 yılına kadar en az %30 seviyesine yükseltilmesi stratejik bir hedef olarak belirlenmiştir (Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı, 2014). Bu bağlamda, 430-450 GWh/yıl hidrolik, 400 GWh/yıl rüzgar, 365 GWh/yıl güneş, 16 GWh/yıl jeotermal ve 1,58 GWh/yıl biokütle (Demir ve Emeksiz, 2016) kaynak potansiyeline sahip olan Türkiye'nin 2015 sonu itibarıyla 264 milyar kWh enerji tüketimi olduğu ve bu talebin yaklaşık %70'inin ithal ağırlıklı fosil yakıtlardan karşılandığı düşünüldüğünde, bu potansiyelin kademeli olarak elektrik üretimindeki payının artırılması tutarlı bir hedef olmakla birlikte, sürdürülebilir enerji politikalarının uygulanması açısından da bir zorunluluktur. Bu kapsamda bu çalışmada, Türkiye'nin önemli seviyede sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynak potansiyelini aktif hale getirmesi için yapması gereken santral yatırımları teknik, ekonomik, sosyal ve çevresel faktörlerin tamamı dikkate alınarak, literatürde kabul görmüş olan ANP ve TOPSIS yöntemlerinin entegre kullanımı ile değerlendirilmiş ve bu alternatiflerin hayata geçirilme öncelikleri sıralanmıştır. Uygulamanın aşamaları Şekil 4'de sunulmuştur.

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Seçiminde Kullanılan Kriterler (Criteria for Renewable Energy Resources Selection)

Türkiye Cumhuriyeti Devleti, ETKB'nin 2015–2019 Stratejik Planına göre, enerji ve maden kaynaklarını etkin, verimli, güvenli, zamanında ve çevreye duyarlı şekilde kullanarak güçlü ve güvenilir enerji altyapısı oluşturmak, bununla birlikte dışa bağımlılığı azaltmak ve ülke refahına en yüksek katkıyı sağlayarak, Türkiye'yi bölgesel anlamda liderliğe taşımak ve uluslararası arenada söz sahibi konuma getirmeyi stratejik olarak hedeflenmektedir. Bu stratejik hedef temel alınarak, ETKB'nin 2015–2019 Stratejik Planı, Ayan ve Pabuççu (2013)'nun yenilenebilir enerji yatırım projelerinin

değerlendirilmesi ve seçimi için önerdikleri hiyerarşik modelde kullandıkları kriterler ile Ahmad ve Tahar (2014)'in çalışmasında kullanılan bazı alt kriterler referans alınarak aşağıda detayları verilen değerlendirme kriterleri, alt kriterler ile belirlenmiştir.



Şekil 4. Uygulama aşamaları

Figure 4. Application steps

Teknik Kriterler: Bu hedefler santralin kuruluşu ve işleyişiyle ilgilidir.

Verimlilik: Enerjide verimlilik; gaz, buhar, ısı, hava ve elektrikteki enerji kayıplarının önlenmesi, atıkların geri kazanımı ve değerlendirilmesi, ileri teknoloji ile üretim düşürülmeden enerji talebinin azaltılması, daha verimli enerji kaynakları, gelişmiş endüstriyel süreçler, enerji geri kazanımları gibi etkinliği artırıcı önlemlerin tamamıdır (TEVEM, 2010). Enerji Verimliliği Kanunu ile ETKB tarafından belirlenen verimlilik hedefi, Türkiye'nin enerji yoğunluğunu 2020 yılına kadar %15 azaltmaktır. Bu hedef, elektrik üretiminde kWh başına kullanılan enerji kaynağı miktarının, dolayısıyla da kaynak konusunda dışa bağımlılığın azalması anlamına gelmektedir.

Santral inşa süresi: İnşasına başlanan santralin tamamlanması ile üretime başlanabilmesinden ötürü, diğer hedeflerin gerçekleştirilmesi için bu kriter ön şarttır.

Ekonomik Kriterler: Enerji üretim santralleri büyük alt yapı yatırımlarıdır ve her büyük üretim tesisinin kurulduğunda olduğu gibi bunlar için de tekno-ekonomik analiz olarak adlandırılacak kapsamlı bir fizibilite çalışmasının yapılması zorunludur. Fizibilite çalışmalarında teknik parametreler daima ekonomik kısıtlara bağlı olduğu için, bu ana kriter bu çalışmada yapılan değerlendirmenin vazgeçilmezidir.

Maliyet: Her yatırım için değerlendirilen kriterlerin başında maliyet gelmektedir. Yatırımcının zarar etmemesi için, yatırımın ilk yatırım maliyetinin döneme etkisi ile dönemsel işletme maliyeti toplamının kazançtan küçük olması beklenir.

Devlet teşviki: Hükümet yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda özellikle son yıllarda birçok teşvik vermektedir. Katma değer vergisi ve gümrük vergisi muafiyeti, hibe/kredi, üretilen enerjinin alım garantisi vb. bunlara örnektir.

Ekonomik ömür: Santral kurulum ve işletme maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle, yatırımın ekonomik ömrü kârlılığı belirleyen önemli bir faktördür.

Dışa bağımlılık: Dışa bağımlılığın azaltılması, yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam üretim içindeki payının artırılması ile mümkün olacak önemli bir stratejik hedeftir. Bu kapsamda, kaynak potansiyelinin fiziksel büyüklüğü belirleyici bir unsurdur.

Sosyal Kriterler: Santral yatırım kararının verilmesinde toplumsal fayda göz önüne alınması gereken bir diğer temel kriterdir.

İstihdam olanakları: Türkiye'nin de etkilendiği son 10 yılda yaşanan küresel krizlerin etkileri, artan nüfus, Ortadoğu'daki savaş iklimi ve buradan kaçan birçok insanın Türkiye'ye iltica etmesi gibi birçok neden, son 10 yılda ortalama %10 olarak gerçekleşen işsizlik oranının bu seviyelerde devam etmesine neden olmaktadır. Elektrik üretim santrallerinin büyük alt yapı yatırımları grubunda oluşu ve istihdam alanlarının oluşturulmasının devletlerin stratejik görevleri arasında yer alması bu durumlar ile birlikte ele alındığında, santral yatırım kararında istihdam olanaklarının etkisini ortaya çıkarmaktadır (Özcan ve Erol, 2014).

Sosyal kabul: Sosyal kabul, santrallerin toplum tarafından kabul edilirlilik düzeyini gösteren bir parametre olarak, iş imkanları, sera gazı emisyonları, görüntü kirliliği, alan ve su kullanımı vb. birçok kriterden etkilenmektedir ve maksimize edilmesi gereken bir hedeftir (Özcan ve Erol, 2014). Bunlardan özellikle çevre ile ilgili olanlar, önemine binaen aşağıda ayrı kriterler olarak belirlenmiştir.

Çevresel Kriterler: Enerji üretimi ve tüketiminden kaynaklı kül, cüruf, sanayi atıkları ve zararlı sera gazı emisyonları çevre ve insan sağlığını, dolayısıyla da ilerleyen yıllarda toplumsal yaşam kalitesini ve iklimi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sorunlar ile mücadelede enerji sektörünün etkin rol oynaması öngörülmekte olup gerekli tedbirlerin alınması dünya genelinde bir zorunluluk olarak dikkate alınmaktadır (ETKB, 2010).

Alan gereksinimi: Santral yatırım kararının verilmesinde, toplam alan kullanımı ve birim m²'ye enerji miktarı önemli bir kriterdir.

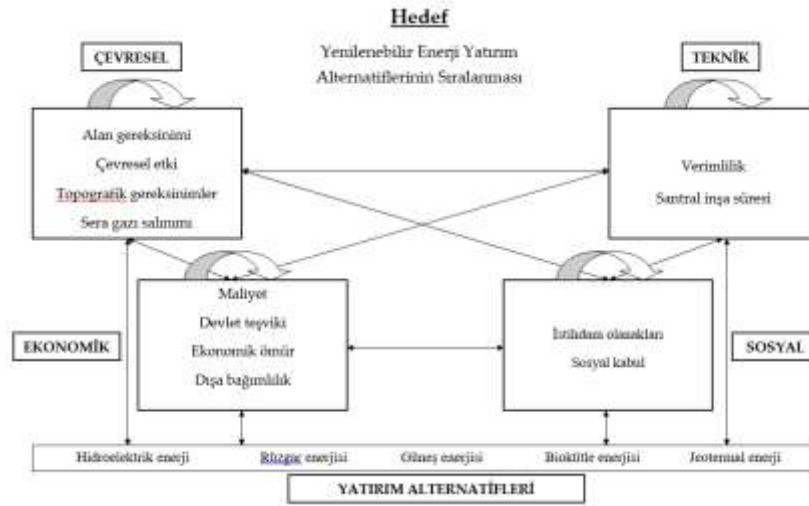
Çevresel etki: Çevresel kirlilik, canlı yaşamına etki eden değişiklikler vb. etkilerin bütünüdür. Barajlı bir hidroelektrik santralin kurulması için yapılan barajın su tutması sonucunda bulunduğu akarsu yatağının etrafındaki karasal alanı su altında bırakması ve yaşama imkanlarını yok etmesi ya da bir rüzgar santralının meydana getirdiği elektromanyetik dalgalanmalar ile kuşların göç yollarını etkilemesi örnek olarak verilebilir (Özcan, 2013).

Topografik gereksinimler: Santral yapılacak sahaların sahip olması gereken jeolojik özellikler, kullanılan bir yakıt söz konusu ise, bu yakıtın santral sahasına ikmal gibi topografyaya bağlı unsurlar da yatırım kararının değerlendirilmesi sürecinde göz önüne alınmıştır (Özcan, 2013).

Sera gazı salınımı: Fosil yakıtlı elektrik üretim santralleri baca gazlarını oluşturmakta, bu gazlar ise CO₂, SO₂ ve NO_x'den oluşan zararlı molekülleri içermektedir. Sera gazları olarak adlandırılan bu moleküller, çevre, hava ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. Oysaki, yenilenebilir kaynak kullanan santrallarda bu gazların emisyon oranları değişmekle birlikte, çevre ve insan sağlığını etkilemeyecek seviyede düşüktür (Özcan, 2013).

ANP Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması (Calculation of Criteria Weights by ANP)

Literatürdeki çalışmalar ve enerji sektöründe üst düzey pozisyonlarda aktif olarak çalışan ve sektörün dinamiklerine hakim uzman görüşlerine başvurularak yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan santral yatırımlarının öncelik sırasının belirlenmesi amacıyla etki eden ve bir önceki bölümde detaylandırılan kriterler arasındaki bağımlılıklar, ilişkiler ve etkileşimler Şekil 5'de ağ yapısı gösterilmiştir.



Şekil 5. Ağ yapısı

Figure 5. Network structure

Kriterlerin önem derecelerinin (ağırlıklarının) belirlenmesi için ana ve alt kriterlerin Şekil 5'de verilen ağ yapısına göre birbirleriyle ilişkileri dikkate alınarak tutarlı ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve elde edilen ağırlıklar Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Değerlendirme kriterleri için hesaplanan nihai ağırlıklar

Table 1. Calculated final weights for evaluation criteria

Ana Kriterler	Alt Kriter	Ağırlıklar
Teknik	Verimlilik	0,68471
	Santral inşa süresi	0,31529
Ekonomik	Maliyet	0,35026
	Devlet teşviki	0,13367
	Ekonomik ömür	0,32617
	Dışa bağımlılık	0,1899
Sosyal	İstihdam olanakları	0,57969
	Sosyal kabul	0,42031
Çevresel	Alan gereksinimi	0,1502
	Çevresel etki	0,54778
	Topografik gereksinimler	0,10156
	Sera gazı salınımı	0,20046

TOPSIS Yöntemi ile Yatırım Alternatiflerinin Sıralanması

Türkiye'nin sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynak alternatifleri (hidroelektrik, rüzgar, güneş, biokütle ve jeotermal) için yukarıda belirtilen 4 ana kriter altındaki 12 alt kriter dikkate alınarak yatırım öncelik sırasının elde edilmesi amacıyla, ilk aşamada Çizelge 2'de sunulan verilere ve ölçülemeyen değerler için (çevresel etkiler ve topografik gereksinimler) bir önceki bölümde bahsedilen uzman görüşlerine göre oluşturulan karar matrisi 0-10 arasındaki tam sayılı değerleri içeren bir skala (en iyi değere 10 atanmış ve diğerleri buna göre oranlanmıştır) kullanılarak oluşturulmuş ve Çizelge 3'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Karar matrisi için veri tablosu

Table 2. Data table for decision matrix

Yatırım Alternatifleri	Kriterler									
	¹ Verimlilik (%)	² İnşa süresi (yıl)	³ Maliyet (\$/kW)	⁴ Devlet teşviki (\$/kWh)	⁵ Ekonomik ömür (yıl)	² Dışa bağımlılık (Kaynak Potanseli-GWh/yıl)	² İstihdam olanakları (kişi/MW)	**Sosyal kabul	⁶ Alan gereksinimi (km ² /MW)	***Sera gazı salınımı (g/kWh)
Hidroelektrik	90	4	2.936	9,6	30	140.000	0,33	0,0479	8,1	10
Rüzgar	26	1	2.213	11	25	144.000	0,40	0,1340	0,05	10
*Güneş	21	2	3.873	22,5	25	380.000	0,53	0,1137	0,04	11
Biokütle	40	2	4.114	18,9	20	93.000	1	0,1270	20	25
Jeotermal	16	2	4.362	13,2	25	4.500	2,13	0,1312	0,007	38

*: Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi teknolojisine ait değerlerdir.

** : Görüntü kirliliği, bölgeye katkı, çevresel etkiler ve birim elektrik üretim maliyeti kriterleri kullanılarak söz konusu santrallerin sosyal kabul faktörleri AHP yöntemi ile hesaplanmıştır (Özcan ve Erol, 2014).

***: Yenilenebilir enerji kaynaklarının sera gazı salınımı açısından çevre üzerinde etkisinin olmadığı genel olarak düşünülmeyle birlikte, santrallerde çalışan özellikle motorlar, pompalar ve şalt ekipmanları tabloda verilen değerleri üretmektedir (Özcan ve Erol, 2014).

1: Verim değerleri, kullanılan teknoloji, saha spesifikasyonları ve çevresel etkilere bağlı olarak değişebilmekle birlikte, tipik ekipmanlar ve özel işletme koşulları baz alınarak tahmin edilmiş değerleri göstermektedir (EIA, 2017).

2: (Özcan ve Erol, 2014).

3: (Kaya ve Koç, 2015).

4: Teknoloji bazında sabit alım fiyat garantisi ve yerli katkı ilavesi dahil toplam değerleri göstermektedir (Yılmaz ve Hotunluoğlu, 2015).

5: (IRENA, 2015).

6: (Cheng ve Hammond., 2016).

Çizelge 3. Karar matrisi*Table 3. Decision matrix*

Yatırım Alternatifleri	Kriterler											
	Verimlilik	İnşa süresi	Maliyet	Devlet teşviki	Ekonomik ömür	Dışa bağımlılık	İstihdam olanakları	Sosyal kabul	Alan gereksinimi	Çevresel etki	Topografik gereksinimler	Sera gazı salınımı
Hidroelektrik	10	3	8	4	10	5	2	4	1	3	4	10
Rüzgar	3	10	10	5	8	5	3	10	6	5	6	10
Güneş	3	5	6	10	8	10	3	7	6	7	6	9
Biokütle	4	5	5	8	6	4	5	8	1	4	7	6
Jeotermal	2	5	4	6	7	1	10	9	10	5	6	4

ANP ile hesaplanan kriter ağırlıkları ile karar matrisinin normalizasyonu sonucunda elde edilen normalize karar matrisi kullanılarak ağırlıklandırılmış normalize matris oluşturulmuştur. Daha sonra, ideal ve negatif ideal çözüm kümeleri hazırlanmış ve bu kümelere ayırım ölçütleri hesaplanarak, ideal ve negatif ideal çözümlere yakınlıklar, yani alternatif yenilenebilir enerji kaynakları için yatırım öncelik sıralaması elde edilmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Yenilenebilir enerji yatırım alternatiflerinin öncelik sıralaması*Table 4. Priority rank of the renewable energy investment alternatives*

Alternatifler	Öncelik Değeri	Öncelik Sırası
Hidroelektrik	0,505736607	2
Rüzgar	0,512961675	1
Güneş	0,351292402	5
Biokütle	0,418438199	3
Jeotermal	0,363520351	4

SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATION)

Enerji tüketiminin, özellikle artan nüfus, sanayileşme ve kentleşme olguları, sürekli gelişen teknoloji ve artan ticaret olanakları neticesinde dünya genelinde gösterdiği ivmeli artış hükümetleri, kesintisiz, güvenilir, çevreye duyarlı ve ekonomik enerji arzını sağlayarak devletlerin kurulma amaçlarından olan toplumsal refah düzeyinin artırılması ve uluslararası arenada söz sahibi olabilmek adına yeni ve sürdürülebilir politikalar üretmek durumunda bırakmıştır. Bu kapsamda, sürdürülebilir enerji politikalarının üç temel unsurunu (verimlilik, ekonomiklik ve çevreye duyarlılık) sağlayan tek alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim, fosil yakıt kullanımının verim açısından yenilenebilir kaynaklara nazaran daha iyi sonuçlara sahip olmasına rağmen sonlu ve maliyetli süreçlere sahip olması ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle özellikle son yıllarda bir artış trendindedir.

Türkiye de, gelişmekte olan ve enerji talebi son 10 yılda 2 kat artmış bir ülke olarak, geliştirdiği sürdürülebilir enerji politikaları gereğince, sahip olduğu azımsanmayacak ölçüdeki yenilenebilir kaynak potansiyelini enerji arzı için kullanılabilir hale getirecek hamleleri hızla yürütmektedir. Ancak, 2016 Temmuz sonu verileri incelendiğinde elektrik üretiminde aktif olan yenilenebilir kaynak kullanımı halen %35,7 seviyesindedir. Bu bağlamda, Türkiye'nin sahip olduğu bu zengin kaynakları daha fazla kullanması için büyük yatırımlara ihtiyaç vardır ve bu çalışma, söz konusu yatırımların öncelik sırasının

belirlenmesi için bir santral yatırımında dikkate alınması gereken tüm kriterleri göz önünde bulundurarak bu önemli problem için analitik bir çözüm üretmek adına gerçekleştirilmiştir.

Literatürde kabul görmüş çok kriterli karar verme yöntemleri arasında en etkin algoritmalarından olan ANP ve TOPSIS'in entegrasyonu ile dünyadaki gelişmeler, literatürdeki çalışmalar, Türkiye'nin stratejik hedefleri ve bunlara bağlı olarak başvurulmuş uzman görüşleri ile yapılan değerlendirme sonucunda, Türkiye'nin yenilenebilir enerji alanındaki yatırımlarını sırasıyla rüzgar, hidroelektrik, biokütle, jeotermal ve güneş santrallerine yapması gerektiği tespit edilmiştir. Yüksek kaynak potansiyeli ile rüzgar enerjisine yapılacak yatırımların öncelikli olmasını, bu santrallerin kurulum sürelerinin diğer alternatiflere göre kısalığı, kesikli üretim kaynağı olmasına rağmen yıllık bazda özellikle jeotermal ve güneş santrallerine göre daha fazla çalışması, santral yatırım ve işletme maliyetleri açısından diğer alternatiflere göre bu santrallerin avantajları, bu santrallerin sosyal kabulünün yüksekliği ve çevresel etkilerinin düşüklüğü gibi temel nedenler desteklemektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan değerlendirmeler neticesinde, hidroelektrik santrallerin verimlerinin diğer alternatiflere nazaran çok yüksek olması, kaynak potansiyelinin yüksekliği, bu santrallerin hem baz yük hem de puant yük ihtiyaçlarını karşılayabilme kabiliyeti ile enerji arz güvenliğine hizmet etmesi gibi gerçeklikleri destekler nitelikte bir sonuç elde edilmiş ve hidroelektrik santraller rüzgar santrallerine çok yakın bir değer ile ikinci sırada yer almıştır. Türkiye'nin çok yüksek seviyede güneş enerjisi potansiyeline sahip olmasına rağmen bu santrallerin kesikli üretim sınıfında yer alması ile birlikte, sık devreye girip çıkması sonucunda şebeke üzerinde meydana getirdiği olumsuz etkiler, düşük verimleri, yatırım maliyetlerinin yüksek oluşu, yıllık bazdaki düşük çalışma süreleri ile biokütle santrallerinde diğerlerinden ayrı olarak bir yakıt gereksinimi ve düşük potansiyelle ek olarak jeotermal kapasitenin düşüklüğü ve kesintisiz üretim ilkesine en alt düzeyde katkı sağlayan alternatif olması da yukarıda verilen yatırım öncelik sıralamasını destekleyen gerçeklerdir.

Çok büyük bir ekonomik kaynak gereksinimine ihtiyaç duyması, dışa bağımlılığı ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri düşürecek olması ve istihdam olanaklarını artırarak, Türkiye'nin küresel anlamda gücüne güç katacak birçok olanağı sunması nedeniyle, önemi çok büyük olan bu yatırım problemi, bu nedenlerle daha detaylı olarak ele alınabilir. Bu kapsamda, birden çok amacın eş zamanlı olarak literatürdeki çalışmalar, bilimsel ve teknolojik gelişmeler ile Türkiye'nin daha kapsamlı stratejik hedefleri baz alınarak bu problem, çok amaçlı bir optimizasyon problemi olarak ileri bir çalışmada ele alınabilir. Böyle bir çalışmada, sadece yatırım öncelikleri değil, aynı zamanda yıllar itibarıyla devreye alınacak santral adetleri ve kurulu güçleri, bu santrallerde üretilmesi gereken yıllık enerji miktarları ve yatırımların parasal değerlerinin yıllara göre dağılımlarını içeren planlar da elde edilebilir.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- Abdullah, L., Najib, L. 2016, "Sustainable Energy Planning Decision Using The Intuitionistic Fuzzy Analytic Hierarchy Process: Choosing Energy Technology In Malaysia", *International Journal of Sustainable Energy*, Vol. 35(4), pp. 360-377.
- Ahmad, S., Tahar, R.M., 2014, "Selection Of Renewable Energy Sources For Sustainable Development of Electricity Generation System Using Analytic Hierarchy Process: A Case of Malaysia", *Renewable Energy*, Vol. 63, pp. 458-466.
- Al Garni, H., Kassem, A., Awasthi, A., Komljenovic, D., ve Al-Haddad, K., 2016, "A Multicriteria Decision Making Approach for Evaluating Renewable Power Generation Sources in Saudi Arabia", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol. 16, pp. 137-150.
- Alptekin N., 2010, "Analitik Ağ Süreci Yaklaşımı ile Türkiye'de Beyaz Eşya Sektörünün Pazar Payı Tahmini", *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, Vol. 11(1), pp. 18-27.
- Arıbaş, M., Özcan, U., 2016, "Akademik Araştırma Projelerinin AHP ve TOPSIS Yöntemleri Kullanılarak Değerlendirilmesi", *Politeknik Dergisi*, Vol. 19(2), pp. 167-177.

- Anık, Z., 2007, Nesne Yönelimli Yazılım Dillerinin Analitik Hiyerarşi ve Analitik Network Prosesi ile Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 66.
- Ayan, T.Y., Pabuçcu, A.G.H., 2013, "Yenilenebilir Enerji Kaynakları Yatırım Projelerinin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi İle Değerlendirilmesi", Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Vol. 18(3).
- Buntaine, M.T., Pizer W.A., 2015, "Encouraging Clean Energy Investment in Developing Countries: What Role for Aid?", *Climate Policy*, Vol. 15(5), pp.543-564.
- Barry, M.L., Steyn, H., Brent, A., 2011, "Selection of Renewable Energy Technologies for Africa: Eight Case Studies in Rwanda, Tanzania and Malawi", *Renewable Energy*, Vol. 36(11), pp. 2845-2852.
- Büyüközkan, G., Güler, S., 2014, "A New GDM Based AHP Framework with Linguistic Interval Fuzzy Preference Relations for Renewable Energy Planning", *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, Vol. 27(6), pp. 3181-3195.
- Chang, K.L., Liao, S.K., Tseng, T.W., Liao, C.Y., 2015, "An ANP Based TOPSIS Approach for Taiwanese Service Apartment Location Selection", *Asia Pacific Management Review*, Vol. 20(2), pp. 49-55.
- Cheng, W.K.V., Hammond, G.P., 2016, "Life-cycle Energy Densities and Land-take Requirements of Various Power Generators: A UK Perspective", *Journal of the Energy Institute*, In press.
- Demir, İ., Emeksiz, C., 2016, "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Potansiyeli ve Kullanımı", Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Tokat, 337-340, 11-13 Mayıs 2016.
- Ertay, T., Kahraman, C. Kaya, I. 2013, "Evaluation of Renewable Energy Alternatives Using MACBETH and Fuzzy AHP Multicriteria Methods: The Case of Turkey", *Technological and Economic Development of Economy*, Vol. 19(1), pp. 38-62.
- ETKB 2015-2019 Stratejik Planı, http://sp.enerji.gov.tr/ETKB_2015_2019_Stratejik_Planı.pdf, erişim tarihi: 14 Eylül 2016.
- EIA (U.S. Energy Information Administration), "What is the Efficiency of Different Types of Power Plants?", <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=107&t=3>, erişim tarihi: 03 Ocak 2017.
- Göktürk, İ.F., Eryılmaz, A.Y., Yörür, B., Yuluğkural, Y., 2011, "Bir İşletmenin Tedarikçi Değerlendirme ve Seçim Probleminin Çözümünde ANP ve VIKOR Yöntemlerinin Kullanılması", *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Vol. 25, pp. 61-74.
- Ham Petrol ve Doğalgaz Sektör Raporu, http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FTP_HAM_PETROL-DOGAL_GAZ_SEKTOR_RAPORU__2015.pdf, erişim tarihi: 1 Ekim 2016.
- Heo, E., Kim, J., Boo, K.J., 2010, "Analysis of the Assessment Factors for Renewable Energy Dissemination Program Evaluation Using Fuzzy AHP", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14(8), pp. 2214-2220.
- Hwang, C.L., Yoon K., 1981, *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, New York: Springer-Verlag.
- IRENA (International Renewable Energy Agency) 2015, "Renewable Power Generation Costs in 2014", 24.
- Kaya, T., Kahraman, C., 2010, "Multicriteria Renewable Energy Planning Using An Integrated Fuzzy VIKOR & AHP Methodology: The Case of Istanbul", *Energy*, Vol. 35(6), pp. 2517-2527.
- Kaya, K., Koç, E., 2015, "Enerji Üretim Santralleri Maliyet Analizi", *Mühendis ve Makina*, Vol. 56(660), pp. 61-68.
- Kum, H., 2009, "Yenilenebilir Enerji Kaynakları: Dünya Piyasalarındaki Son Gelişmeler ve Politikalar", *Erciyes Üniversitesi İİBF Dergisi*, Vol. 33, pp. 207-223.
- Mahmoodzadeh, S., Shahrabi, J., Pariazar, M., Zaeri, M.S., 2007, "Project Selection by Using Fuzzy AHP and TOPSIS Technique", *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 30, pp. 333-338.

- Özcan, E.C., 2013, *Elektrik Üretim Planlamasında Çok Amaçlı Optimizasyon Yaklaşımı: Türkiye Örneği*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özcan, E.C., Erol, S., 2014, "A Multi-Objective Mixed Integer Linear Programming Model for Energy Resource Allocation Problem: The Case of Turkey", *Gazi University Journal of Science*, Vol. 27(4), pp. 1157-1168.
- Özcan, E.C., Eren, T., 2014, "Bakım Planlamasında TOPSIS Yöntemi Uygulaması: Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali Örneği", *Kırıkkale Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, Vol. 6(2).
- Özcan, E.C., Küçükayarar, U., 2016, "Assessment of Potential South Gas Corridor Projects with a Combined Methodology", 23rd World Energy Congress, İstanbul (Accepted), 9-13 October 2016.
- Perçin, S., Gök, A.C., 2013, "ERP Yazılımı Seçiminde İki Aşamalı AAS-TOPSIS Yaklaşımı", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Vol. 8(2).
- Sadeghi, A., Larimian, T., Molabashi, A., 2012, "Evaluation of Renewable Energy Sources for Generating Electricity in Province of Yazd: A Fuzzy MCDM Approach", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 62, pp. 1095-1099.
- Stojcetovic, B., Nikolic, D., Velinov, V., ve Bogdanovic, D., 2016, "Application of Integrated Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats and Analytic Hierarchy Process Methodology to Renewable Energy Project Selection in Serbia", *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, Vol. 8(3).
- Şengül, Ü., Eren, M., Shiraz, S.E., Gezder, V., Şengül, A.B., 2015, "Fuzzy TOPSIS Method for Ranking Renewable Energy Supply Systems in Turkey" *Renewable Energy*, Vol. 75, pp. 617-625.
- Tasri, A., Susilawati, A., 2014, "Selection among Renewable Energy Alternatives Based on A Fuzzy Analytic Hierarchy Process In Indonesia", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Vol. 7, pp. 34-44.
- Türkiye Enerji Verimliliği Meclisi (TEVEM), Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu "Yeşil Ekonomiye Geçiş", 2010.
- Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Planı, http://www.eie.gov.tr/duyurular_haberler/document/Turkiye_Ulusal_Yenilenebilir_Enerji_Eyl_em_Planı.PDF, erişim tarihi: 10 Eylül 2016.
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ), Türkiye Enerji İstatistikleri, <http://www.teias.gov.tr/TurkiyeElektrikIstatistikleri.aspx>, erişim tarihi: 14 Eylül 2016.
- Trappey, A.J., Trappey, C.V., Wang, D.Y., Ou, J.J., Li, S.J., 2015, "An Integrated Self-Organizing Map and Analytic Hierarchy Process Modeling Approach for Evaluating Renewable Energy Policies", *International Journal of Electronic Business Management*, Vol. 13, pp. 3-14.
- Uysal, F., 2011, "Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Alternatiflerinin Seçimi için Graf Teori ve Matris Yaklaşım", *Ekonometri ve İstatistik Dergisi*, Vol. 13:23.
- Weigelt, C., Shittu, E., 2016, "Competition, Regulatory Policy, and Firms' Resource Investments: The Case of Renewable Energy Technologies", *Academy of Management Journal*, Vol. 59(2), pp. 678-704.
- Wu, C.S., Lin, C T., Lee, C., 2010, "Optimal Marketing Strategy: A Decision-Making with ANP and TOPSIS", *International Journal of Production Economics*, Vol. 127(1), pp. 190-196.
- Yaralıoğlu, K., 2010, *Karar Verme Yöntemleri*, Detay Yayıncılık, ANKARA.
- Yazdani- Chamzini, A., Fouladgar, M.M., Zavadskas, E.K., Moini, S.H.H., 2013, "Selecting the Optimal Renewable Energy Using Multi Criteria Decision Making", *Journal of Business Economics and Management*, Vol. 14(5), pp. 957-978.
- Yıldız, A., 2014, "En İyi Üniversite Seçiminde Analitik Ağ Prosesinin Kullanımı", *Düzce Üniversitesi İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, Vol. 3(2), pp. 108-119.
- Yılmaz, O., Hotunluoğlu, H., 2015, "Yenilenebilir Enerjiye Yönelik Teşvikler ve Türkiye", *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Vol. 2(2), pp. 74-97.

Yi, S.K., Sin, H.Y., Heo, E., 2011, "Selecting Sustainable Renewable Energy Source for Energy Assistance to North Korea", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15(1), pp. 554-563.